



11 Veröffentlichungsnummer: **0 591 651 A1**

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **93112940.7**

51 Int. Cl.⁵: **G01S 13/90**

22 Anmeldetag: **12.08.93**

30 Priorität: **05.10.92 DE 4233415**

71 Anmelder: **Deutsche Aerospace AG**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.04.94 Patentblatt 94/15

D-81663 München(DE)

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT NL SE

72 Erfinder: **Klausing, Helmut, Dipl.-Ing. Dr.**
Kolbermoorer Strasse 14a
D-83043 Bad Aibling(DE)

54 **Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen.**

57 Um bei einem derartigen Radargerät die Rechenarbeit zu vereinfachen, wird vorgeschlagen, für die Korrelation der Empfangssignale mit den Referenzfunktionen eine sog. unfokussierte Signalverarbeitung vorzunehmen. Bei dieser wird lediglich der Hauptteil des Empfangssignales S_E verwendet, bei dem die Phasenänderung kleiner oder gleich 90° für den Hin- und Rückweg des Signales ist. Als Referenzfunktion wird eine vereinfachte Fensterfunktion ($S_r; r$) verwendet, deren Breite ebenfalls dem Hauptteil des Empfangssignales entspricht. Vorzugsweise werden hierbei die Inphase- und Quadraturkomponente (I_r, Q_r) der Fensterfunktion r gleich gewählt.

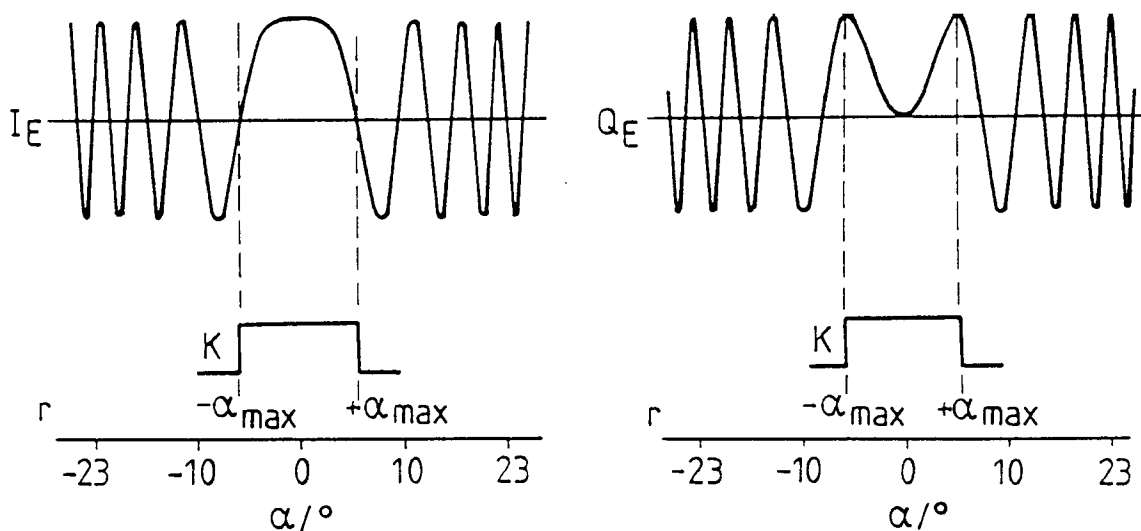


FIG. 1

Unfokussierte Signalverarbeitung

In der DE-PS 39 22 086 ist ein Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen (ROSAR-Gerät) bekannt, welches einen Sender und einen Empfänger aufweist, deren zumindest eine Antenne zum Senden und Empfangen von Radarimpulsen am Ende eines rotierenden Armes, z.B. eines Hubschrauberrotors oder eines Drehkreuzes oberhalb der Rotorachse, angeordnet ist. Die Empfangssignale werden demoduliert und zwischengespeichert und anschließend mit Referenzfunktionen korreliert. Diese Referenzfunktionen werden jeweils in Abhängigkeit von der Beleuchtungsgeometrie des Radargerätes errechnet bzw. vorgegeben. Parameter für diese Berechnung bzw. Vorgabe sind die zu vermessenden Entfernungsintervalle, die Sendefrequenz, die Länge des rotierenden Armes, der Drehwinkelbereich der Antenne aus dem Signale rückempfangen werden, die Anzahl der Sendeimpulse sowie die Höhe der rotierenden Antenne über Grund. Das Korrelationsergebnis wird in geeigneter Weise, z.B. auf einem Monitor, angezeigt. Ein derartiges Radargerät kann in Echtzeitznähe im On-line-Betrieb eingesetzt und somit etwa neben der Kartographie und der Hinderniswarnung auch der Zielaufklärung und der Zielverfolgung dienen. Der Prozessor dieses bekannten ROSAR-Gerätes weist mehrere Bausteine auf, um die vielfältigen und komplexen Rechenaufgaben zu unterteilen und dadurch die Echtzeitznähe bzw. den On-Line-Betrieb zu ermöglichen.

Bei diesem bekannten Gerät wird das Ergebnis für jedes Entfernungsintervall stets durch Korrelation des Empfangssignales mit einer für dieses Entfernungsintervall gültigen Referenzfunktion erhalten. Es werden in der Patentschrift bereits Lösungen vorgeschlagen, diese Referenzfunktionen zu vereinfachen. Dies gilt für bestimmte Bedingungen, nämlich wenn die Zielentfernung entweder wesentlich größer als die Höhe der Antenne über Grund und ebenfalls wesentlich größer als die Länge des die Antenne tragenden Rotorarmes oder zumindest wesentlich größer als die Länge des Rotorarmes ist. In allen anderen Fällen wird eine vollständige Lösung der Korrelation errechnet.

Trotz dieser Vereinfachung verbleibt ein erheblicher Rechenaufwand, der eine extreme Koordination der Rechenvorgänge voraussetzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Rechenarbeit für die Korrelation weiter zu vereinfachen und zu verringern, wobei dadurch die Einsatzmöglichkeit und das Auflösungsvermögen des Radargerätes nicht wesentlich beeinträchtigt werden soll. Diese Aufgabe ist gemäß der Erfindung durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Demgemäß wird für bestimmte Bereiche die Korrelation mit vereinfachten Referenzfunktionen vorgenommen, wobei das mit der Erfindung vorgeschlagene Verfahren sozusagen als unfokussierte Signalverarbeitung bezeichnet werden kann. Die Korrelation der Empfangssignale mit der zugehörigen Referenzfunktion entspricht im Grunde einer Fokussierung, weil hier die vollständige Kompensation des kosinusförmigen Phasenverlaufes erfolgt und damit alle Empfangsechos entlang der synthetischen Apertur phasengleich zum Empfangssignal aufaddiert werden. Dieser Vorgang liefert die beste mögliche Auflösung, hat jedoch den Nachteil des erwähnten hohen Rechenaufwandes hinsichtlich der Korrelation.

Bei der unfokussierten Signalverarbeitung wird nur der Hauptteil des Empfangssignales berücksichtigt, bei dem die Phasenänderung kleiner als $\pi/2$ für den Hin- und Rückweg des Signallaufes liegt. Dies entspricht dann einem Phasenfehler von $\pi/4$ für den Einweg-Fall, entsprechend einer Wegdifferenz von $\lambda/8$. Solange diese Bedingung erfüllt ist, braucht nach der Fernfeld-Bedingung keine Korrektur vorgenommen zu werden. Es verschlechtert sich zwar die Lateralauflösung infolge der Integration über eine kleinere synthetische Aperturlänge, die jedoch für bestimmte Bedingungen hinnehmbar ist. Der Vorteil liegt in einer Vereinfachung der Referenzfunktion und der Signalverarbeitung. Bei einem ROSAR-Gerät wird, wie bei einem Gerät mit linear bewegter Antenne, für den Hin- und Rückweg ein maximaler Phasenfehler von 90° , d.h. $\pi/2$ bzw. $\lambda/4$ bei einem Drehwinkel der Antenne von $\alpha = \alpha_{\max}$ zugelassen, entsprechend einem Wert von $\pi/4$ bzw. $\lambda/8$ für den einfachen Weg. Bei der unfokussierten Signalverarbeitung wird nicht mit der vollständigen Referenzfunktion $S_R(t)$, sondern nur mit einer Fensterfunktion

$$S_A(t) = I_A(t) + j \cdot Q_A(t) \quad (I)$$

korreliert, deren Breite dem Hauptteil des Empfangssignales $S_E(t)$ innerhalb der oben genannten Grenzen für den Phasenwinkel von 90° für den Hin- und Rückweg entspricht. Innerhalb dieser Breite erfolgt damit eine Addition des Empfangssignals ohne Phasenkorrektur. Die Korrelation des Empfangssignales mit der Fensterfunktion entspricht einer Addition der Empfangsechos über der Antennenlänge beim Radar mit realer Apertur. Außerhalb dieses Intervalles erfolgt eine starke Dämpfung. Die Fensterbreite, d.h. die zur Beleuchtung gehörende Integrationszeit bzw. der zulässige Drehwinkelbereich für die unfokussierte Signalverarbeitung, muß dem Empfangssignal für jedes Entfernungsintervall angepaßt werden und ist für die Inphase- und

Quadraturkomponente gleich groß und hat die gleiche Form. Für diese Komponenten $I_r(t)$ bzw. $Q_r(t)$ gilt während der Integrationszeit $T_S = 2 \cdot t_{\max}$:

$$I_r(t) = Q_r(t) = r(t) \quad \text{mit } -t_{\max} \leq t \leq t_{\max}. \quad (2)$$

Die Fensterfunktion $r(t)$ kann als Übertragungsfunktion des Filters auf den Energieinhalt Eins normiert werden. Mit dem Normierungsfaktor K gilt dann:

$$r(t) = \begin{cases} K & \text{für } -t_{\max} \leq t \leq t_{\max} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (3)$$

Die Normierung muß nicht unbedingt durchgeführt werden. Sie kann entfallen, wenn nur die Detektion von Zielen, d.h. das Korrelationsergebnis, eine Rolle spielt. Für den zur Fensterbreite zugehörigen Drehwinkel α folgt mit $\alpha_{\max} = \omega_o \cdot t_{\max}$; vgl. Fig. 1:

$$-\alpha_{\max} \leq \alpha \leq +\alpha_{\max}. \quad (4)$$

Der maximale Drehwinkel legt somit die Grenze der unfokussierten Signalverarbeitung fest, da dort der Phasenfehler gerade noch den erlaubten Wert annimmt.

Für die Fenstertunktion $r(\alpha)$ als Funktion des Drehwinkels α folgt mit der Winkelverschiebung

$$\Delta\alpha = \omega_o \cdot \Delta t = \frac{\omega_o}{f_p}:$$

$$r(\alpha) = \text{rect}\left(\frac{\Delta\alpha}{2 \cdot \alpha_{\max}}\right). \quad (5)$$

Die Ungleichung zur Berechnung des maximalen Drehwinkels α_{\max} , für den die unfokussierte Signalverarbeitung noch gültig ist, lautet

$$R_n(t) \leq R_{s0n} + \frac{\lambda}{8} \quad (6)$$

(n : Nummer des jeweiligen Entfernungsintervalles), wobei $R_n(t)$ die Zielentfernung in Abhängigkeit von der Zeit t , R_{s0n} die Entfernung zwischen der Antenne und der Mittellinie des ausgeleuchteten Entfernungsintervalles im Zielgebiet und λ wiederum die Wellenlänge ist. Ist der beleuchtete Streifen in N Entfernungsintervalle aufgeteilt, so gibt der Index n die Nummer des jeweiligen Entfernungsintervalles in Abhängigkeit der Radialauflösung an ($1 \leq n \leq N$). Setzt man die Beziehung für die Schrägentfernungen $R_n(t)$ und die kürzeste Entfernung zum Ziel R_{s0n} ein, so erhält man mit

$$R_n(t) = \sqrt{L^2 + R_{gn}^2 - 2 \cdot L \cdot R_{gn} \cdot \cos \alpha_n + H_o^2} \quad (6a)$$

und

$$R_{s0n} = \sqrt{(R_{gn} - L)^2 + H_o^2} \quad (6b)$$

dann folgende Ungleichung:

$$\sqrt{L^2 + R_{gn}^2 - 2 \cdot L \cdot R_{gn} \cdot \cos \alpha_n + H_o^2} \leq \sqrt{(R_{gn} - L)^2 + H_o^2} + \frac{\lambda}{8}. \quad (7)$$

5 Anhand der in der obigen Patentschrift angegebenen Formeln und der geometrischen Betrachtungen der Beleuchtungsgeometrie ergibt sich aus der Umwandlung der obigen Ungleichung (6) bzw. (7) in eine Gleichung der maximal für die unfokussierte Signalverarbeitung zulässige Drehwinkel $\alpha_{n\max}$ für jedes

$$10 \quad \alpha_{n\max} = \arccos \left[1 - \left(\frac{\sqrt{(R_{gn} - L)^2 + H_o^2}}{L \cdot R_{gn}} \cdot \frac{\lambda}{8} + \frac{\lambda^2}{128 \cdot L \cdot R_{gn}} \right) \right]. \quad (8a)$$

15 Für Entfernungen zum Ziel, die groß gegen die Rotorlänge L sind, d.h. $R_{gn} \gg L$ gilt:

$$20 \quad \tilde{\alpha}_{n\max} = \arccos \left[1 - \frac{\lambda}{8 \cdot L} \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{H_o}{R_{gn}} \right)^2} \right) \right]. \quad (8b)$$

Für Entfernungen zum Ziel, die groß gegen die Rotorlänge L und Höhe H_o sind, d.h. $R_{gn} \gg L$ und gleichzeitig $R_{gn} \gg H_o$ folgt

$$25 \quad \tilde{\alpha}_{n\max} = \arccos \left[1 - \frac{\lambda}{8 \cdot L} \right]. \quad (8c)$$

30 Für $R_{gn} \gg L$ und gleichzeitig $R_{gn} \gg H_o$ ist der maximale Drehwinkelbereich $\tilde{\alpha}_{n\max}$ unabhängig von der Entfernungsgeometrie und die Fenstertunktion braucht deshalb nicht mehr in radialer Richtung angepaßt zu werden. Dies ermöglicht eine sehr schnelle Signalverarbeitung.

Die zu dem maximalen Drehwinkel gehörende synthetische Aperturlänge $S_{n\max}$ errechnet sich aus der

$$35 \quad S_{n\max} = 2 \cdot \alpha_{n\max} \cdot L. \quad (9a)$$

Für $R_{gn} \gg L$ gilt:

$$40 \quad \tilde{S}_{n\max} = 2 \cdot \tilde{\alpha}_{n\max} \cdot L. \quad (9b)$$

Für $R_{gn} \gg L$ und gleichzeitig $R_{gn} \gg H_o$ gilt:

$$45 \quad \tilde{S}_{n\max} = 2 \cdot \tilde{\alpha}_{n\max} \cdot L. \quad (9c)$$

50 In Fig. 2 ist der Verlauf des maximal zulässigen Drehwinkels α_{\max} als Funktion der Entfernung R_g zum Zielobjekt für verschiedene Höhen H_o der Antenne über Grund für eine Wellenlänge von 0.23 m und eine Länge L des Rotorarmes von 6 m dargestellt. Man sieht, daß insbesondere für größere Einsatzhöhen H_o der Drehwinkelbereich, in dem eine unfokussierte Signalverarbeitung ohne größeren Verlust an Auflösung möglich ist, recht erheblich ist. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf des maximalen Drehwinkels $\tilde{\alpha}_{\max}$

55 nach Gleichung (8c) mit $\tilde{\alpha}_{\max} = 5.6^\circ$, der sich bei dieser Beleuchtungsgeometrie ab einer Entfernung von ungefähr 500 m nur noch geringfügig ändert.

In Fig. 3 wird außer dem maximal zulässigen Drehwinkel α_{\max} der Antenne zusätzlich der Verlauf des maximalen Drehwinkels $\alpha_s/2$ des Empfangssignals als Funktion des Öffnungswinkels γ der verwendeten

Antenne und der Zielentfernung R_g gezeigt, und zwar als gestrichelte Kurvenschar. Im Nahbereich ist der von der Einsatzhöhe H_o abhängige Winkel α_{\max} größer als der von dem Öffnungswinkel γ abhängige maximale Drehwinkel $\alpha_s/2$. Dies bedeutet, daß hier die Fensterlänge für die unfokussierte Signalverarbeitung größer als die Länge des Empfangssignales ist. In diesem Bereich ist jedoch die Radialauflösung am Boden sehr schlecht, weshalb der für eine unfokussierte Signalverarbeitung eigentlich interessante Bereich dann gegeben ist, wenn der maximale Drehwinkel $\alpha_s/2$ größer als der Winkel α_{\max} wird. Insbesondere kann die unfokussierte Signalverarbeitung bei hohen Frequenzen z.B. oberhalb von 35 GHz, d.h. im Bereich der Millimeterwellen, angewandt werden. Bei diesen hohen Frequenzen ist außerdem der Vorteil geringer Antennenabmessungen gegeben, d.h., daß derartige Antennen auf einem Hubschrauber z.B. auf einem Kleinen separaten Drehkreuz oberhalb der Rotorachse mit einer Rotorlänge von ca. 1 m angeordnet werden können.

Für die gegebenen Abschätzungen des maximalen Drehwinkels $\alpha_{n\max}$ für $R_{gn} \gg L$ bzw. $R_{gn} \gg L$ und gleichzeitig $R_{gn} \gg H_o$ kann die Lateralauflösung Δx abgeschätzt werden. Dazu wird die kreisbogenförmige synthetische Aperturlänge S durch die Sehne ersetzt und der Antennenweg innerhalb dieses kleinen Drehwinkelbereiches als linear angesehen. Mit $S_{n\max} = 2 \cdot \alpha_{n\max} \cdot L$ gilt allgemein für die Lateralauflösung Δx als Funktion des jeweiligen Entfernungsintervalles mit dem Index n :

$$\Delta x_n = \frac{\lambda}{2 \cdot S_{n\max}} \cdot R_{gn} = \frac{\lambda}{4 \cdot \alpha_{n\max} \cdot L} \cdot R_{gn}. \quad (10a)$$

Für $R_{gn} \gg L$ gilt:

$$\tilde{\Delta x}_n = \frac{\lambda}{4 \cdot \tilde{\alpha}_{n\max} \cdot L} \cdot R_{gn}. \quad (10b)$$

Für $R_{gn} \gg L$ und gleichzeitig $R_{gn} \gg H_o$ gilt:

$$\bar{\Delta x}_n = \frac{\lambda}{4 \cdot \bar{\alpha}_{n\max} \cdot L} \cdot R_{gn}. \quad (10c)$$

Aus der Tatsache, daß die maximale synthetische Aperturlänge auf den Halbkreis der Rotorblattebene begrenzt ist und nicht, wie bei der linearen Antennenbewegung, mit wachsender Entfernung zum Objekt ansteigt, folgt, daß der für eine unfokussierte Signalverarbeitung maximal zulässige Drehwinkelbereich ab etwa 500 m einen Grenzwert erreicht und sich dann nur noch geringfügig ändert. Dies bedeutet, daß die Fensterlänge auch für zunehmende Entfernungen konstant bleibt und hat damit den wesentlichen Vorteil, daß die Signalverarbeitung erheblich beschleunigt wird. Bei Entfernungen unter 500 m ist der Drehwinkel abhängig vom Depressionswinkel, d.h. dem Verhältnis von der Höhe der Antenne über Grund zur Entfernung. Je größer diese Höhe ist, d.h. je steiler die Antenne zum Boden gerichtet wird, desto größer wird der Depressionswinkel. Dies hat zur Folge, daß der maximal zulässige Drehwinkelbereich mit größer werdendem Depressionswinkel ebenfalls zunimmt, da, bedingt durch die fast senkrechte Projektion des Entfernungsverlaufes am Boden, die Phasenabweichung proportional dieser Projektion ist. Im Nahbereich besteht dann unter Beachtung der in Fig. 3 gezeigten Randbedingungen ebenfalls die Möglichkeit einer unfokussierten Signalverarbeitung, falls die gewünschte Radialauflösung am Boden ausreicht.

Die Erfindung ist in einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung stellen dar:

- Fig. 1 Diagramme für die Anteile I_E und Q_E des Empfangssignales und der als Referenzfunktion gewählten Fensterfunktion mit dem Anteil r zur bereits oben erfolgten Erläuterung der unfokussierten Signalverarbeitung;
- Fig. 2 den bereits oben erläuterten Verlauf des maximalen Drehwinkels der Antenne;
- Fig. 3 das Diagramm gemäß Fig. 2 mit einer überlagerten Kurvenschar hinsichtlich des Verlaufes des maximalen Drehwinkels des Empfangssignales als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne

γ .

Fig. 4 ein Blockschaltbild eines Radargerätes gemäß der Erfindung mit einer unfokussierten Signalverarbeitung;

Fig. 5 einen Vergleich der Ergebnisfunktion für fokussierte und unfokussierte Signalverarbeitung.

5 Fig. 6 ein gegenüber Fig. 4 detailliertes Blockschaltbild wesentlicher Schaltungsbausteine zur unfokussierten Signalverarbeitung.

In Fig. 4 ist ein vereinfachtes Blockschaltdiagramm für den Prozessor eines ROSAR-Gerätes gegeben, wobei zur detaillierten Erklärung auf Fig. 6 und auf die oben genannte DE-PS 39 22 086 verwiesen wird. Der Prozessor weist zwei Kanäle auf, wobei der eine Kanal zur Erzeugung der Referenzfunktionen und der andere Kanal zur Aufbereitung der Empfangssignale dient. Im ersten Kanal ist ein Geometriebaustein 1 vorgesehen, der mit Hilfe der eingegebenen Höhe H_0 der Antenne über Grund und weiterer Parameter, insbesondere dem Depressionswinkel, dem Inklinationswinkel und der Länge des Rotorarmes, Parameter berechnet, die für die Referenzfunktionen notwendig sind. Diese Parameter werden einer weiteren Schaltung 2, bestehend aus mehreren Bausteinen, zugeführt, wobei in dieser Schaltung der gesamte Entfernungsbereich des ROSAR-Gerätes in eine Vielzahl von Entfernungsintervallen unterteilt wird. Aufgrund dieser Unterteilung werden dann in einem weiteren Baustein 3 die Referenzfunktionen berechnet, wobei hierbei bereits entsprechend der genannten DE-PS 39 22 086 für die Referenzfunktionen unterschiedliche Bereiche vorgegeben werden, je nachdem, ob die Zielentfernung wesentlich größer als die Höhe der Antenne über Grund bzw. kleiner oder gleich dieser, aber wesentlich größer als die Länge des Rotorarmes ist. Ferner werden in einem weiteren Baustein 4 die oben erwähnten vereinfachten Referenz- bzw. Fensterfunktionen errechnet. Die Bausteine 3 und 4 sind mit einem Speicher 5 für die Referenz- bzw. Fensterfunktionen versehen.

Im zweiten Kanal werden die Empfangssignale S_E einem Quadraturdemodulator 6 zugeführt und hinsichtlich ihrer Inphase- und Quadraturkomponente I_E und Q_E in einer Tastschaltung 7 ausgetastet. Die Komponenten werden in Zwischenspeichern 8 bzw. 9 zwischengespeichert und über einen Speicher 10 synchron mit den entsprechenden Referenz- bzw. Fensterfunktionen einem Korrelator 11 zugeführt. Das Korrelationsergebnis wird in einer Anzeige, z.B. einem Monitor 12, dargestellt und/oder weiter ausgewertet. Hinsichtlich der näheren Funktion wird auf die oben genannte DE-PS 39 22 086 verwiesen.

Mit Hilfe eines Komparatorprozessorbausteines 13 wird die obige Ungleichung (7) und die Gleichung (8) zur Ermittlung des maximalen Drehwinkels, bis zu dem eine unfokussierte Signalverarbeitung möglich ist, berechnet. Zugeführt werden diesem Baustein die in den obigen Gleichungen angegebenen Parameter, die aus dem Geometriebaustein 1 und der Schaltung 2 ermittelt wurden, wobei diese Parameter entsprechend Gleichung (8c) auf die beiden Parameter L und λ begrenzt werden können, wenn mit dem Näherungswert gerechnet wird.

35 Dieser Komparatorprozessorbaustein 13 steuert die beiden Bausteine 3 und 4 für die Referenzfunktionen bzw. Fensterfunktionen an und bestimmt, wann die unfokussierte Signalverarbeitung erfolgen soll. Sowohl die Referenzfunktion als auch die Fensterfunktion können jeweils entsprechend den Ausführungen in einzelnen Bereichen vereinfacht werden.

In Fig. 5 ist die Ergebnisfunktion für eine fokussierte und eine unfokussierte Signalverarbeitung dargestellt, wobei ungünstige Parameter verwendet wurden, nämlich eine Wellenlänge von 0.23 m, eine Rotorblattlänge von 6 m und ein Näherungswert des maximalen Drehwinkels gemäß Gleichung (8c) von 5.6° sowie eine Lateralauflösung von etwa 0.1 mal der Zielentfernung. Hierbei galt gleichzeitig wiederum, daß die Zielentfernung wesentlich größer als die Rotorblattlänge und wesentlich größer als die Höhe der Antenne über Grund ist. Man sieht, daß trotz dieser schlechten Parameter bereits die Ergebnisfunktion deutlich aus dem Hintergrund zu separieren ist und somit das beleuchtete Objekt eindeutig verifiziert werden kann. In Fig. 6 ist ein detailliertes Blockschaltdiagramm für die Korrelation der eintreffenden Signale mit den Fensterfunktionen dargestellt. Der oben erwähnte Baustein 4 zum Bilden der vereinfachten Referenz- bzw. Fensterfunktionen weist eine Winkelberechnungsschaltung 41 auf, in der der für die unfokussierte Signalverarbeitung maximal zulässige Drehwinkel α_{nmax} entsprechend der obigen Gleichung (8a) berechnet wird. Eingangssignale für diese Schaltung sind:

50 R_{gn} : der Abstand vom Drehpunkt der Antenne zum Mittelpunkt der jeweiligen Entfernungs- bzw. Auflösungszelle;
 n : der Laufindex für die einzelnen Entfernungsintervalle;
 λ : die Wellenlänge des Sendesignals;
55 L : die Länge des Rotorblattes bzw. des rotierenden Armes und
 π : die Kreiszahl.

Der berechnete Wert für den zulässigen Drehwinkel, d.h. die Größe des Winkelfensters, innerhalb dessen die unfokussierte Signalverarbeitung zulässig ist, wird einmal einer Fensterzeitberechnungsschal-

tung 42 und einer Fensterfunktionsberechnungsschaltung 43 zugeführt. In der Fensterzeitberechnungsschaltung wird aus dem Laufindex n und der Kreisfrequenz ω_0 die Integrationszeit T_{sunf} entsprechend der in dem Block 42 in Fig. 6 angegebenen Formel berechnet. In einer Stützstellenberechnungsschaltung 44 wird diese Integrationszeit mit der Pulswiederholfrequenz f_P multipliziert, woraus sich die Anzahl der Stützstellen Z_S , d.h. die Anzahl der Sendeimpulse innerhalb des vorgegebenen Fensters bestimmt. Das Fenster des gesamten Drehwinkels wird entsprechend der Stützstellenanzahl unterteilt, so daß an diesen Orten die jeweiligen Korrelationen gebildet werden. Der Ausgangswert Z_S der Stützstellenberechnungsschaltung 44 wird dem Speicher 5 für die Referenz- bzw. Fensterfunktionen und dem Korrelator 11 zugeführt. Zur Berechnung der Fensterfunktionen in der Fensterfunktionsberechnungsschaltung 43 ist diese mit einer Inkrementvorgabschaltung 45 verbunden, die aus den Werten für die Kreisfrequenz und die Pulswiederholfrequenz das Winkelinkrement $\Delta\alpha$ liefert, d.h. das Winkelinkrement von Stützstelle zu Stützstelle. Der Fensterfunktionsberechnungsschaltung wird außerdem noch der Laufindex n zugeführt. Analog zu der obigen Gleichung (2) werden in der Fensterfunktionsberechnungsschaltung 43 der Inphase- und der Quadraturanteil der Fensterfunktion vorgegeben, wobei diese Funktionen in der Fig. 6 von dem Winkel α und nicht von der Zeit t abhängig angegeben sind, wobei jedoch diese beiden Parameter durch die Kreisfrequenz ω_0 direkt in Verbindung stehen. Die mit einem Dach " ^ " gekennzeichneten Abtastwerte für die Inphase- und Quadraturkomponente der Fensterfunktionen für die einzelnen Entfernungintervalle mit dem Laufindex n sind jeweils gleich und werden durch die Rechteckfunktion $\text{rect}[\Delta\alpha/(2 \cdot \alpha_{\text{max}})]$ bestimmt, die für Werte von $\Delta\alpha$ zwischen $-\alpha_{\text{max}}$ bis $+\alpha_{\text{max}}$ Eins und ansonsten Null ist. Dieses gilt für sämtliche Entfernungintervalle, d.h. für den Laufindex n zwischen 1 und N . Diese Formel ist analog zu der o.a. Gleichung (3), die dort wiederum auf die Zeit als Funktionsparameter bezogen ist. Die Fensterfunktion $\hat{r}_n(\alpha)$ wird dem Speicher 5 zugeführt, dessen Kapazität K_R zumindest dem Produkt aus der maximalen Anzahl der Stützstellen Z_S , der Gesamtzahl N der Entfernungintervalle und der Wortlänge U , d.h. der Anzahl der Bits der Fensterfunktion sein muß. Auf der Empfangsseite ist zunächst eine Impulszählschaltung 46 vorgesehen, in der die Anzahl Z_B der Sendeimpulse über 360° errechnet werden. Diese Anzahl setzt sich aus dem Produkt der Gesamtintegrationszeit T_B für 360° und der Pulswiederholfrequenz f_P zusammen. Die Anzahl Z_B wird einmal dem Korrelator 11 und zum anderen den Zwischenspeichern 8 und 9 für die Inphase- bzw. Quadraturkomponente des Empfangssignales zugeführt. Die Komponenten I_E und Q_E sind wiederum als analog/digital gewandelte Abtastwerte mit einem Dach " ^ " in Abhängigkeit des Drehwinkels für die einzelnen Entfernungintervalle mit dem Laufindex n dargestellt. Die abgetasteten Werte der Inphase- und Quadraturkomponente werden dem Speicher 10 zugeführt, wobei dessen Speicherkapazität mindestens dem Produkt aus der maximalen Anzahl Z_B der Sendeimpulse über 360° , der Anzahl der Entfernungintervalle und der doppelten Wortlänge, d.h. der doppelten Anzahl der Bits der jeweiligen Komponente entsprechen. Dem Korrelator 11 werden nun getaktet jeweils die mit dem gleichen Laufindex n versehenen Fensterfunktionen und Empfangssignalkomponenten zugeführt und entsprechend den in dem Korrelatorblock 11 angegebenen Formeln korreliert. Die wiederum als Abtastwerte mit einem Dach gekennzeichneten Ergebnisfunktionen \hat{S}_0 für die einzelnen Entfernungintervalle mit dem Laufindex n für den Inphase- bzw. Quadraturanteil/ bzw. Q werden in Abhängigkeit des Winkelinkrements $\Delta\alpha$ multipliziert mit einem weiteren Laufindex m zwischen 1 und der Gesamtzahl Z_B der Sendeimpulse angegeben und einer Betragsbildungsschaltung 47 zugeführt, in der der Betrag der abgetasteten Ergebnisfunktion $\hat{S}_{0n}(m \cdot \Delta\alpha)$ gebildet wird. Dieser Betrag, d.h. das reelle Korrelationsergebnis wird dann dem Monitor 12 oder einem weiteren Auswertegerät 48 zugeführt.

Patentansprüche

- 1.** Radargerät mit zumindest einem Sender und einem Empfänger, denen zumindest eine Antenne zum Senden und Empfangen von Radarimpulsen am Ende eines rotierenden Armes zugeordnet ist, mit einer Einrichtung zum Demodulieren und Zwischenspeichern der Empfangssignale, mit Einrichtungen zum Bilden und Speichern von Referenzfunktionen in Abhängigkeit von der Beleuchtungsgeometrie des Radargerätes, der zu vermessenden Entfernungintervalle, der Drehwinkelbereiche, der Sendeimpulse sowie der Höhe der rotierenden Antenne über Grund, und mit einem Korrelator zum Korrelieren der Empfangssignale mit den Referenzfunktionen sowie einem Auswerte- und/oder Anzeigegerät für das Korrelationsergebnis, dadurch gekennzeichnet, daß für die Korrelation ausschließlich der Hauptteil des Empfangssignals (S_E) verwendet wird, bei dem die Phasenänderung kleiner oder gleich 90° entsprechend $\pi/2$ für den Hin- und Rückweg des ausgesendeten und empfangenen Signales ist, und als Referenzfunktion eine vereinfachte Fensterfunktion ($S_R; r$) verwendet wird, deren Breite ebenfalls dem Hauptteil des Empfangssignales entspricht.

2. Radargerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Inphase- und Quadraturkomponente (I_r, Q_r) der Fensterfunktion gleich gewählt sind ($K; 1$).

3. Radargerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Inphase- und Quadraturkomponente (I_r, Q_r) jeweils eine Sprungfunktion (r) sind mit einem normierten Wert (K) innerhalb der durch den Hauptteil des Empfangssignales definierten Grenzen und dem Wert 0 außerhalb dieser Grenzen.

4. Radargerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrelation mit Hilfe der Fensterfunktion innerhalb eines maximalen Drehwinkels ($\alpha_{n\max}$) erfolgt, für den die Ungleichung

$$R_n(t) \leq R_{s0n} + \frac{\lambda}{8}$$

(n : Nummer des jeweiligen Entfernungintervalles)

gilt und $R_n(t)$ die Zielentfernung, R_{s0n} die Entfernung zwischen der Antenne und der Mittellinie des von der Antenne ausgeleuchteten Streifens und λ die Wellenlänge des Sendesignales ist. Ist der beleuchtete Streifen in N Entfernungintervalle aufgeteilt, so gibt der Index n die Nummer des jeweiligen Entfernungintervalles in Abhängigkeit der Radialauflösung an ($1 \leq n \leq N$).

5. Radargerät nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der maximale Drehwinkel für die einzelnen Entfernungintervalle berechnet wird zu:

$$\alpha_{n\max} = \text{Arccos} \left[1 - \left(\frac{\sqrt{(R_{gn} - L)^2 + H_o^2}}{L \cdot R_{gn}} \cdot \frac{\lambda}{8} + \frac{\lambda^2}{128 \cdot L \cdot R_{gn}} \right) \right].$$

In der Gleichung bedeuten:

R_{gn} der Abstand vom Drehpunkt der Antenne zum Mittelpunkt des jeweiligen Entfernungintervalles mit dem Laufindex n , L die Länge des die Antenne tragenden rotierenden Armes, H_o die Höhe der Antenne über Grund und unter λ die Wellenlänge des Sendesignales.

6. Radargerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Berechnungs- und Vorgabeschaltung (44, 45) vorgesehen ist, mit der der Bereich, in der die Korrelation mit der vereinfachten Fensterfunktion ($S_r(t)$) erfolgt, in Unterbereiche ($Z_s, \Delta\alpha$) unterteilt wird und daß an den durch die Unterteilung ermittelten Stützstellen das Empfangssignal abgetastet und mit der jeweiligen Fensterfunktion korreliert wird.

7. Radargerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungsschaltung (44, 45) eine Stützstellenberechnungsschaltung (44) und eine Inkrementvorgabeschaltung (45) umfaßt, in denen die Anzahl (Z_s) und die Lage der Stützstellen bestimmt werden, an denen die Werte für die Fensterfunktionen gebildet und die Empfangssignale abgetastet werden.

8. Radargerät nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als vereinfachte Fensterfunktion

$$r(t) = \begin{cases} K & \text{für } -t_{\max} \leq t \leq +t_{\max} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

verwendet wird, wobei $\pm t_{\max}$ die dem maximal zulässigen Drehwinkel α_{\max} zugeordnete Zeit ist.

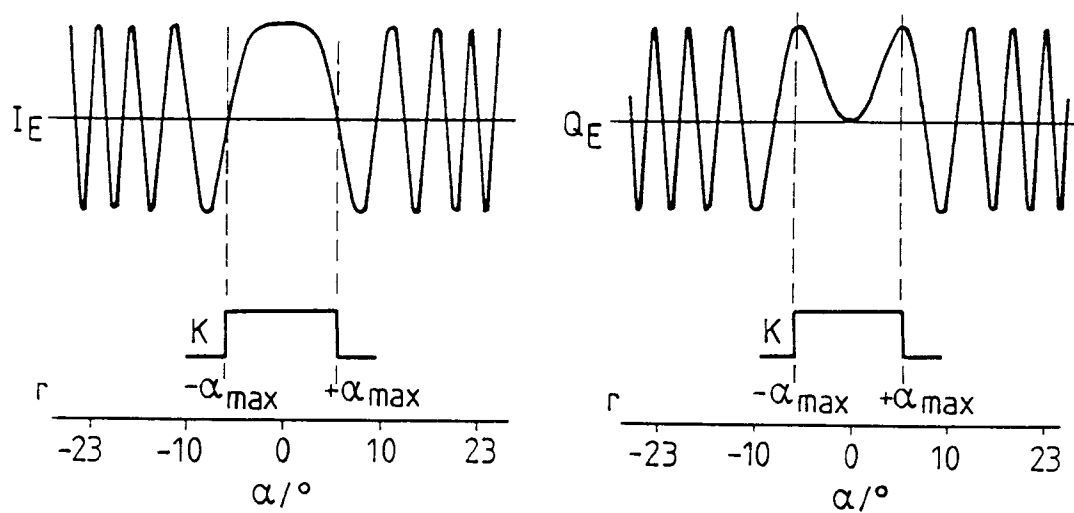


FIG. 1

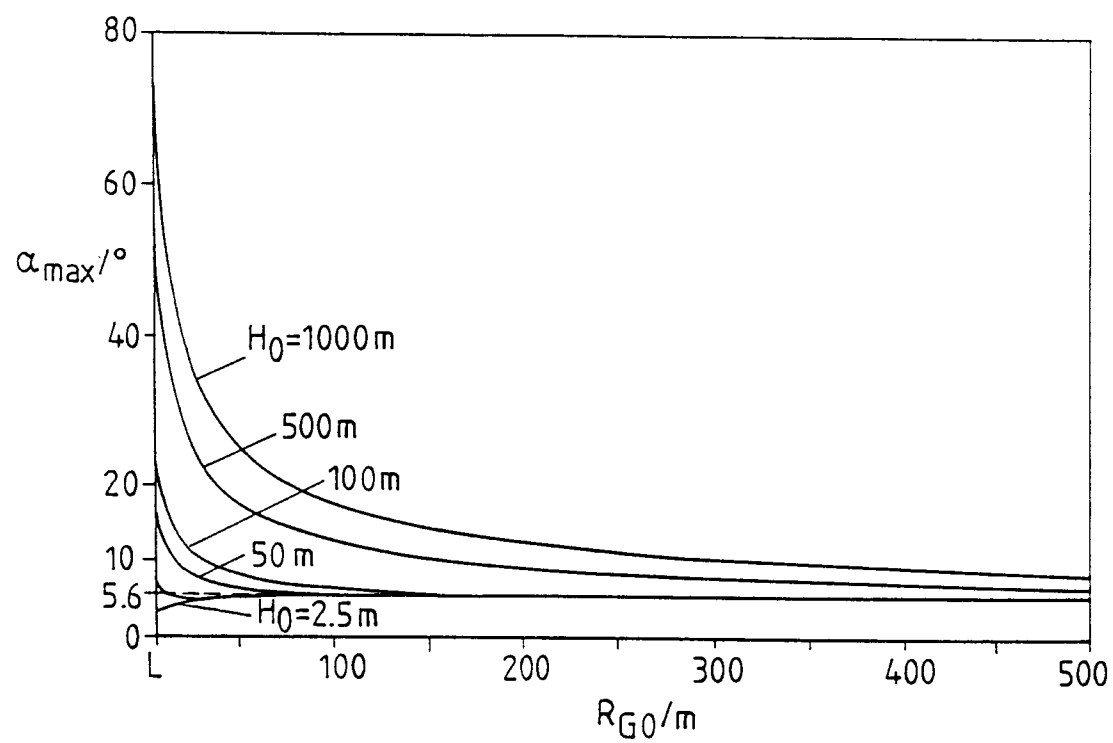


FIG. 2

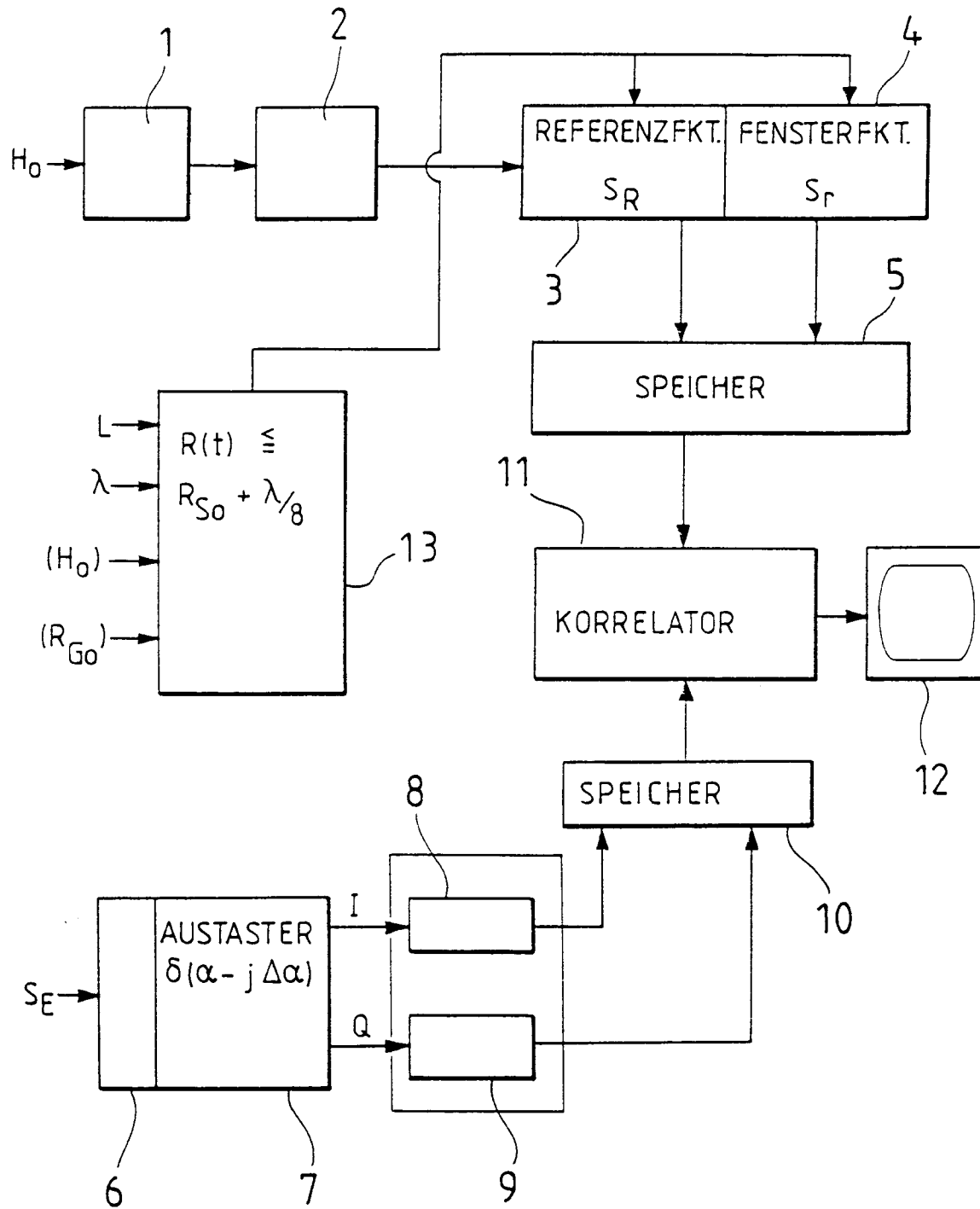
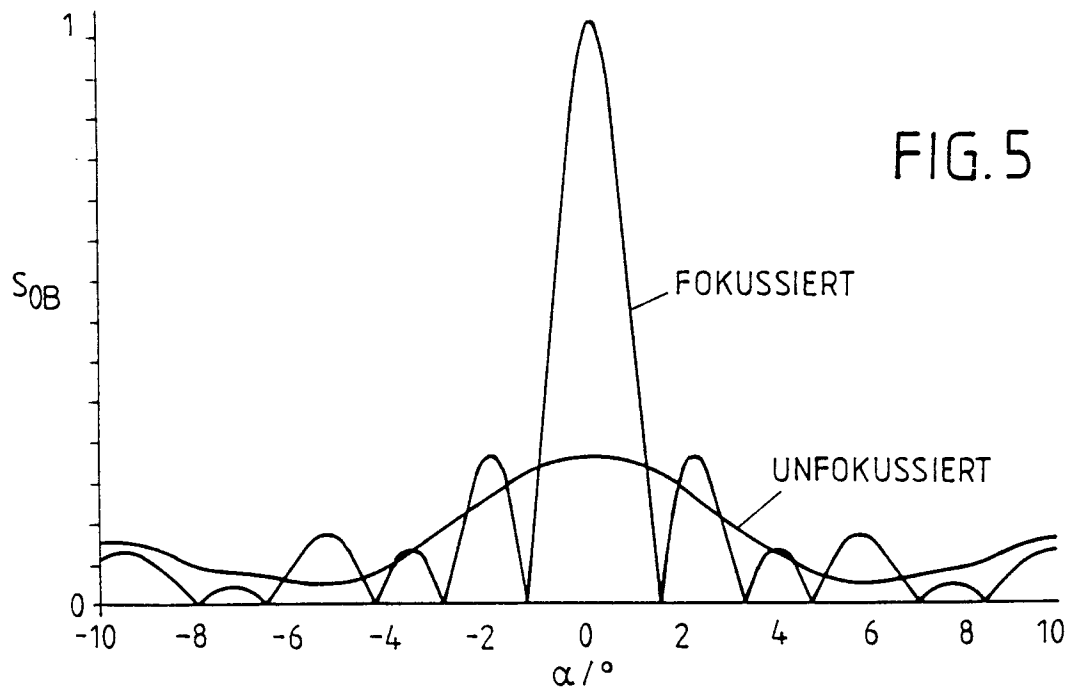
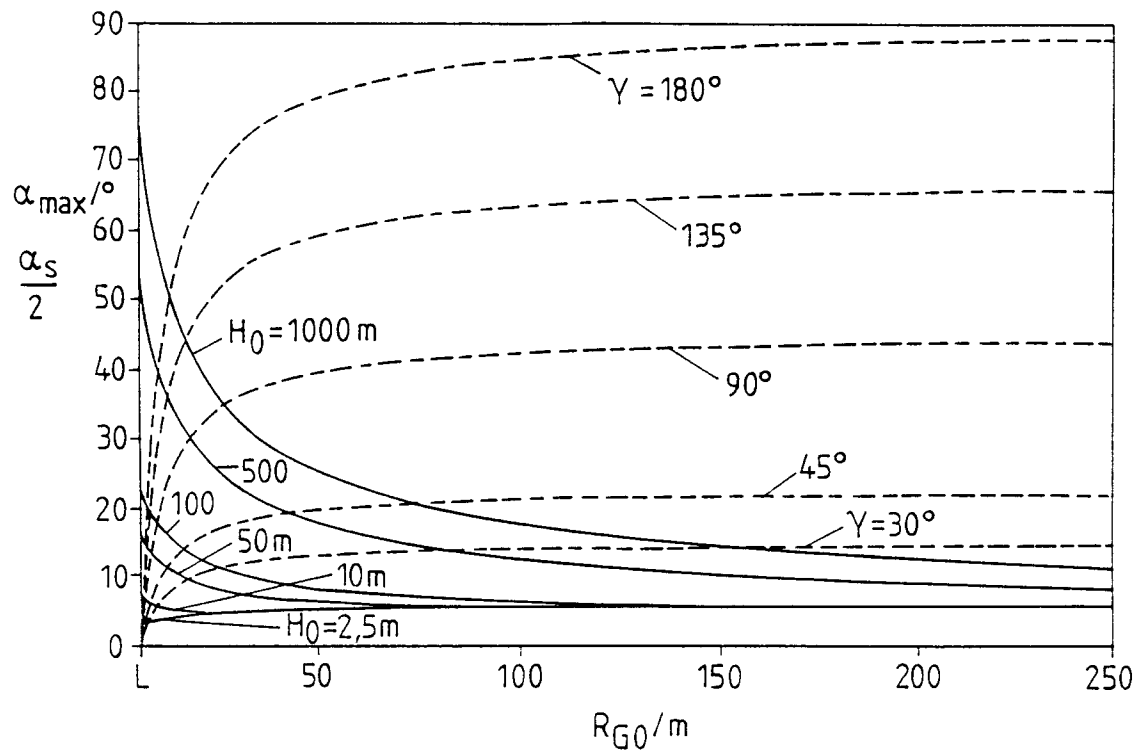
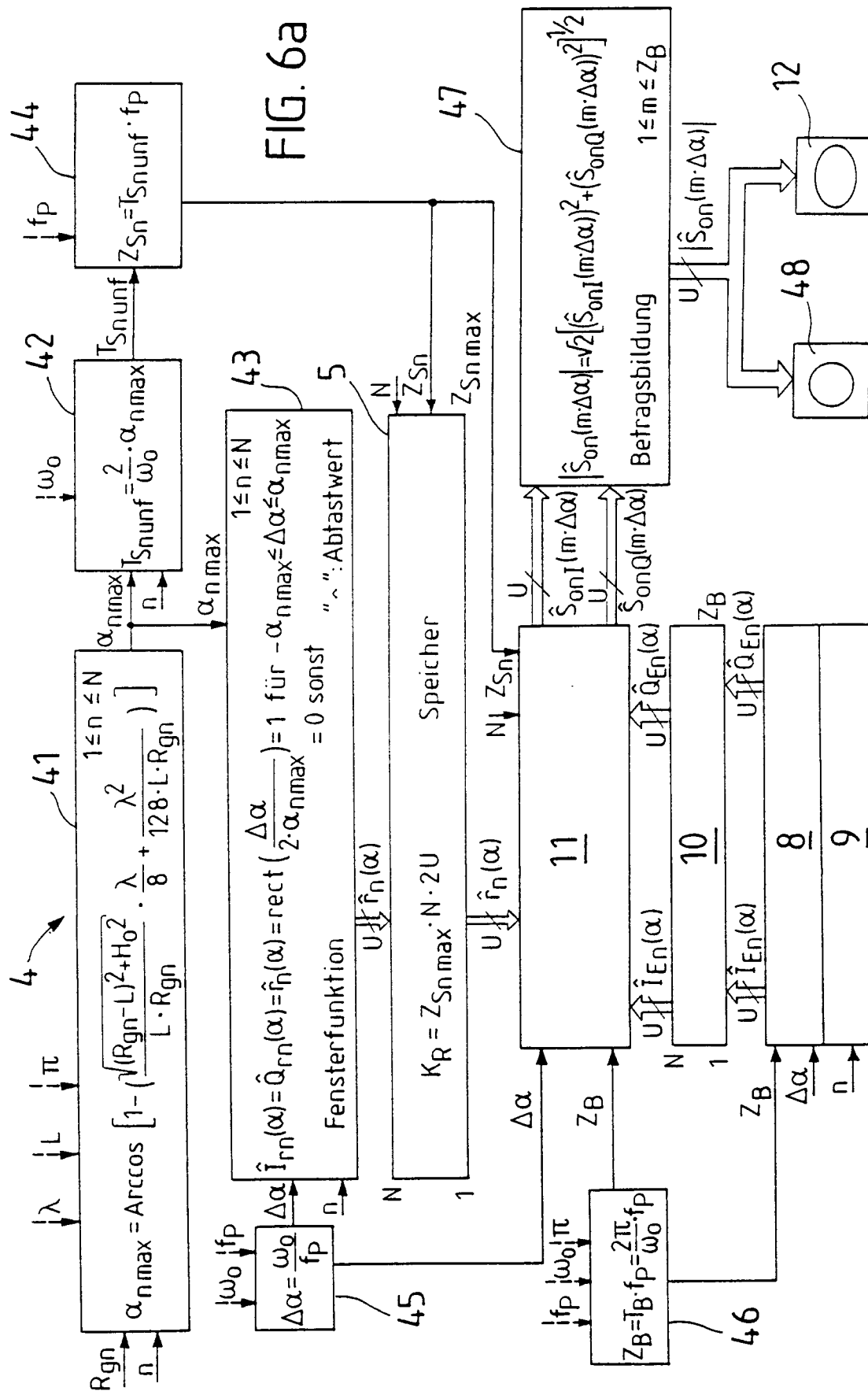


FIG. 4

FIG. 3





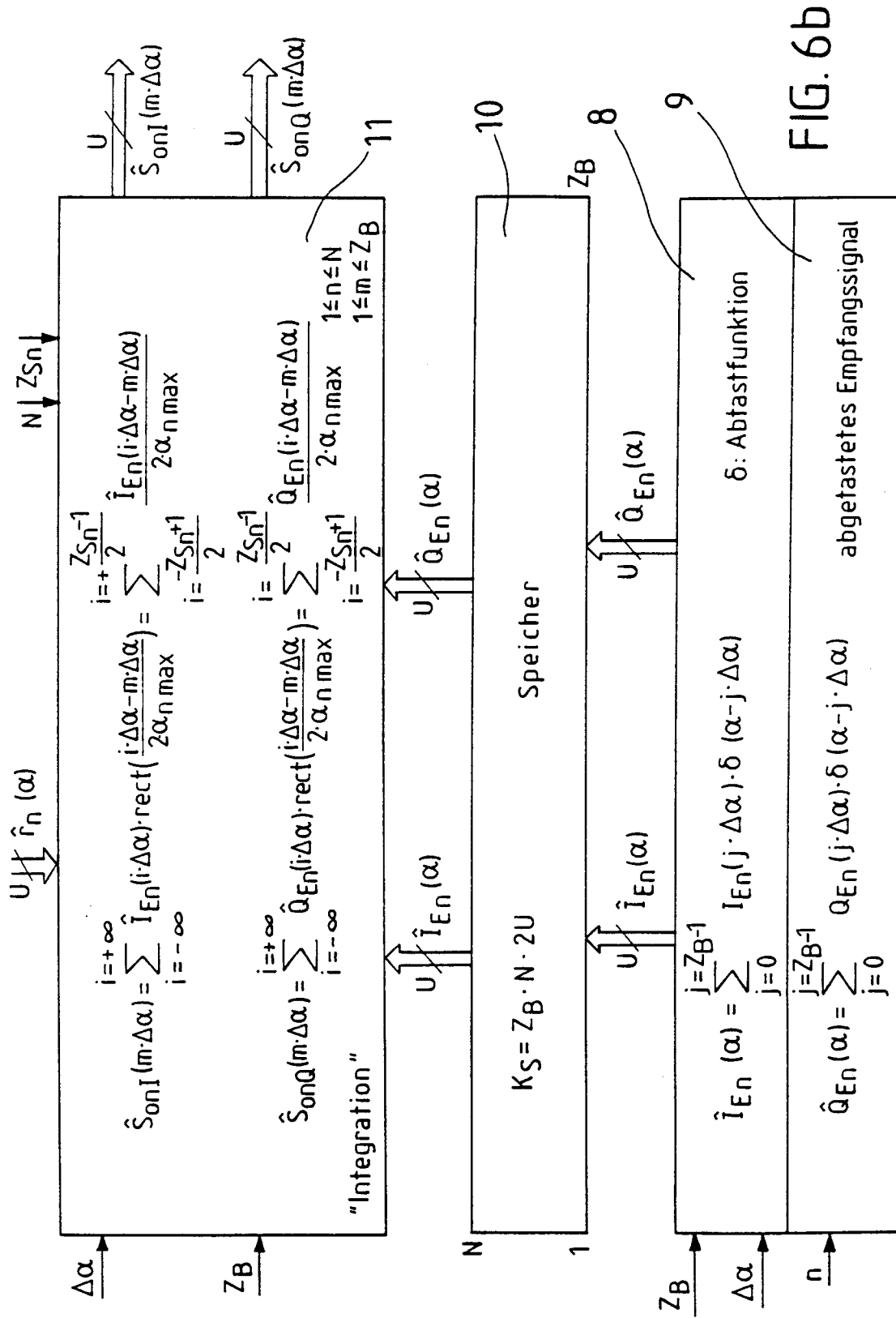


FIG. 6b



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 93 11 2940

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	FREQUENZ, Band 45, Nrn. 1/2, Januar/Februar 1991, BERLIN, DE; H. KLAUSING: "Realisierbarkeit eines Radars mit synthetischer Apertur durch rotierende Antennen (Teil I)", Seiten 51-58 * Insgesamt * ---	1	G 01 S 13/90
A	FREQUENZ, Band 45, Nrn. 3/4, März/April 1991, BERLIN, DE; H. KLAUSING: "Realisierbarkeit eines Radars mit synthetischer Apertur durch rotierende Antennen (Teil II)", Seiten 73-80 * Insgesamt * ---	1	
A	FREQUENZ, Band 45, Nrn. 5/6, Mai/Juni 1991, BERLIN, DE; H. KLAUSING: "Realisierbarkeit eines Radars mit synthetischer Apertur durch rotierende Antennen (Teil III)", Seiten 147-154 * Insgesamt * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			G 01 S
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 22-12-1993	Prüfer BLONDEL F J M
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	